

## Analisis Efisiensi Generator Pada GT21 Blok 2 Pembangkit Listrik Tenaga Gas Dan Uap PT. CEPA Sengkang

Ashar AR<sup>1)</sup>, Hamma<sup>2)</sup>, Wisna Saputri Alfira WS<sup>3)</sup>, Andarini Asri<sup>4)</sup>, Ardiyansyah<sup>5)</sup>

Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang

ashar\_ar@poliupg.ac.id<sup>1)</sup>, hamma@poliupg.ac.id<sup>2)</sup>, alfirasaputri@poliupg.ac.id<sup>3)</sup>, andarianiasi@poliupg.ac.id<sup>4)</sup>, ardiyansyahanca13@gmail.com<sup>5)</sup>



### Abstract

PLTGU Sengkang which is operated by PT. CEPA Sengkang with a total capacity of 315 MW. One of the important components in the PLTGU system is a generator. In a generator there are many problems that arise, including generator efficiency problems. The research that will be carried out is to determine the generator efficiency value and then determine how much the generator efficiency value increases. In finding the efficiency value by making daily and monthly loading curves using generator output power, generator input power data, generator nameplate and generator power losses at 25%, 50%, 75%, and 100% loading. In this study, taking a sample that lasted for 1 month (31 days) of generator efficiency data for each loading and comparing the actual with the generator specifications, the difference for loading 25% experienced a decrease in efficiency of 0.35%, for loading 50% experienced an efficiency increase of 0.12%, for loading 75% increased efficiency of 0.25% and for loading 100% increased efficiency of 0.32%. In this study the generator has experienced reverse power so that the efficiency of the generator has decreased. The average efficiency in May 2022 was 96.21%, with an average load of 29.96 MW and an average input power of 31.14 MW. Referring to the manual book Block 2 PLTGU PT. CEPA Sengkang is known that the generator efficiency value is by design divided into 4 loadings. For loading 25% efficiency is 96.6%, for loading 50% efficiency is 98.45%, for loading 75% efficiency is 98.82%, and for loading 100% efficiency is 98.93% and so that the optimum efficiency of the generator occurs at a load of 54.2 MW (loading 100 %) with a value of 99.62%.

**Keywords:** PLTGU, Generator Efficiency, Reverse power

### Abstrak

PLTGU Sengkang dioperasikan oleh PT. CEPA Sengkang dengan kapasitas 315 MW. Salah satu komponen terpenting di sistem PLTGU adalah generator. Ada banyak masalah yang terjadi pada pengoperasian generator termasuk permasalahan efisiensi. Penelitian ini mengkaji tentang besar efisiensi generator dan menentukan berapa besar kenaikan efisiensi generator. Efisiensi didapatkan dengan membuat kurva beban harian dan bulanan menggunakan daya keluaran, data masukan, data nameplate generator, rugi-rugi pada pembebanan 25%, 50%, 75% dan 100%. Penelitian ini menggunakan data satu bulan (31 hari) untuk setiap pembebanan dan membandingkannya dengan spesifikasi generator dan didapatkan bahwa pada pembebanan 25% terjadi penurunan efisiensi 0,35%, pembebanan 50% menyebabkan efisiensi naik 0,12%, pembebanan 75% menaikkan efisiensi sebesar 0,25% dan pembebanan 100% menaikkan efisiensi menjadi 0,32%. Pada penelitian ini didapatkan bahwa generator mengalami daya reverse yang menyebabkan efisiensi turun. Rata-rata efisiensi di bulan Mei 2022 adalah 96,2% dengan rata-rata beban 29,96 MW dan rata-rata daya masukan 31,14%. Mengacu pada referensi manual Blok 2 PLTGU PT. CEPA Sengkang diketahui bahwa nilai efisiensi generator di rancang untuk 4 kondisi pembebanan yaitu 96,6% untuk pembebanan 25%, pembebanan 50% dengan efisiensi 98,45%, pembebanan 75% dengan efisiensi 98,82% dan pembebanan 100% dengan efisiensi 98,93% sehingga efisiensi optimum generator terjadi pada pembebanan 54,2 MW (pembebanan 100%) dengan nilai efisiensi 99,62%.

**Kata kunci:** PLTGU, efisiensi, Daya Reverse

### I. PENDAHULUAN

Kebutuhan masyarakat terhadap energi listrik sangat tinggi pada saat ini sehingga sangat dibutuhkan pusat-pusat tenaga listrik (*Power Plant*) yang menyediakan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan tersebut

Salah satu pemasok listrik ke PLN di Sulawesi Selatan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) yang berada di desa Patila, kabupaten Sengkang, Sulawesi Selatan. PLTGU tersebut dioperasikan oleh PT. CEPA sejak Maret 2012 yang sebelumnya dioperasikan oleh PT. ALSTOM. Oleh karena itu diharapkan PT. CEPA Sengkang dapat

mempertahankan keandalan dari pembangkit yang dioperasikannya untuk tetap menyuplai listrik kepada seluruh pelanggan.

Salah satu masalah yang sering terjadi pada pengoperasian generator adalah penurunan efisiensi. Gangguan efisiensi generator dapat berakibat fatal pada generator sehingga dapat menyebabkan generator tidak bekerja secara optimal serta mempengaruhi kinerja dari sistem PLTGU. Semakin besar efisiensi generatornya maka keandalan sistemnya juga semakin baik. Namun selama beberapa tahun beroperasi, efisiensi generator mengalami penurunan akibat beberapa faktor sering terjadinya *derating* (penurunan beban) dan trip (*unit shutdown*) serta faktor-faktor lain [1]. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan terhadap efisiensi pada generator tersebut.

## II. KAJIAN LITERATUR

### A. Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap PT. CEPA Sengkang

Berdasarkan data sistem pembangkit PLTGU Sengkang yang berkapasitas total 315 MW, PLTGU ini merupakan gabungan antara Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG) dan Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU), PLTGU ini terdiri dari dua unit turbin gas yang masing-masing berkapasitas 60000 KW atau 60 MW dan satu unit turbin uap yang berkapasitas 60000 KW atau 60 MW [2]. Jika dipergunakan sistem *combine cycle* (gabungan) antara PLTG dan PLTU maka efisiensi yang dihasilkan adalah sebesar 180 MW [3].

### B. Generator Sinkron

Generator sinkron atau *alternator* merupakan alat yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Semua generator sinkron mempunyai jangkar yang diam sebagai stator dan medan magnet yang berputar sebagai rotor. Energi listrik yang dihasilkan karena perputaran rotor yang terkopel dengan turbin sebagai penggerak mula. Akan terhubung dengan sumber eksitasi yang menyuplai listrik DC sehingga menimbulkan medan magnet pada rotor yang akan membantuk proses induksi medan magnet pada jangkar stator. Kumparan DC yang ada pada medan magnet yang berputar yang dihubungkan dengan sumber listrik DC melalui *slip ring* dan sikat arang tetapi ada juga yang

tidak menggunakan sikat arang disebut *brushless excitation* [4][5].

### C. Rugi-Rugi Daya generator

Rugi-rugi pada generator sinkron terbagi atas 3 macam yaitu [6]:

1) Rugi-rugi angin dan gesekan ( $P_{ag}$ )

Rugi-rugi angin gesekan ( $P_{ag}$ ) dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk dari bagian yang berputar, rancangan sudu kipas rotor, desain bantalan (*bearing*) dan susunan rumah (*housing*) mesin. Rugi yang hilang tersebut berupaya daya yang diperlukan untuk memutar kipas guna mensirkulasikan udara pendingin, dan gesekan bantalan dan sikat

2) Rugi-rugi Tembaga ( $P_{cu}$ )

Rugi tembaga ini terdiri dari kumparan stator dan kumparan rotor. Rugi tembaga stator dan rugi tembaga rotor dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_{cu,s} = 3 \times I_a^2 \times R_a \quad (1)$$

$$P_{cu,r} = I_f^2 \times R_f \quad (2)$$

Dimana:

$P_{cu,s}$  : Rugi tembaga pada stator (W)

$P_{cu,r}$  : Rugi tembaga pada rotor (W)

$I_a$  : Arus pada stator (A)

$I_f$  : Arus pada rotor (A)

$R_f$  : Tahanan pada rotor ( $\Omega$ )

3) Rugi-rugi Besi

Rugi besi disebut juga rugi magnetik yang terdiri dari rugi histerisis dan rugi arus pusar atau arus *eddy* yang timbul dari perubahan kerapatan fluks pada besi mesin dengan hanya lilitan peneral utama yang diberi tenaga pada generator sinkron [7].

Rugi histerisis ( $P_h$ ) dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut:

$$P_h = \eta h \cdot B_{max}^{1,6} \cdot f \cdot v \text{ (watt)} \quad (3)$$

dimana :

$\eta h$  : koefisien *steinmetz* histerisis

$B$  : kerapatan fluks ( $Wb/m^2$ )

$V$  : volume inti ( $m^3$ )

$f$  : frekuensi (Hz)

Tabel 1 Nilai koefisien *steinmetz* histerisis [8]

Bahan	h (joule / m <sup>3</sup> )
Sheet steel	502
pSilicon steel	191
Hard Cast steel	7040
Cast steel	750 – 3000
Cast iron	2700 – 4000

Adapun rugi arus pusar atau rugi arus *eddy* tergantung kuadrat dari kerapatan fluks, frekuensi dan ketebalan dari lapisan pada keadaan mesin normal besarnya adalah:

$$P_e = k \cdot B_{\max}^2 \cdot f^2 \cdot t^2 \quad (4)$$

dimana :

k : koefisien

$B_{\max}$  : kerapatan fluks (Wb/m<sup>2</sup>)

f : frekuensi (Hz)

t : waktu (detik)

#### D. Efisiensi Generator

Efisiensi atau rendemen generator adalah perbandingan antara daya keluaran (*output*) dengan daya masukan (*input*), dan dinyatakan dalam persentase sebagai berikut [9] :

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\% \quad (5)$$

dimana:

$P_o$  = daya keluaran (W)

$P_i = P_o + P_{rugi}$  (W)

$P_{rugi}$  = rugi – rugi total (W)

#### E. Reverse Power

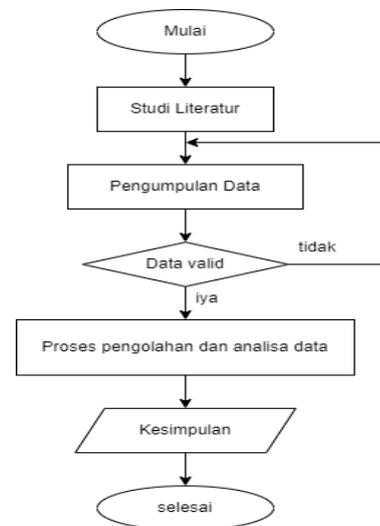
*Reverse power* merupakan fenomena berubahnya unjuk kerja sebuah mesin listrik yang awalnya adalah sebagai generator berubah menjadi motor. penyebab terjadinya reverse power yaitu 1) generator dihubungkan paralel atau bergabung dalam suatu jaringan dengan generator lain. 2) torsi yang dihasilkan oleh penggerak mula (prime mover, dalam hal ini misalkan turbin uap, turbin air, atau mesin diesel) lebih kecil dari torsi yang dibutuhkan untuk menjaga agar kecepatan rotornya berada pada kecepatan proporsionalnya (dengan referensi frekuensi sistem). 3) terjadi kehilangan torsi dari penggerak mulanya ("TRIP" atau mengalami kegagalan operasi) dan generator masih terhubung dengan jaringan. Karena masih ada kecepatan sisa pada rotornya, sedangkan disisi statornya ada tegangan dari jaringan, sehingga tegangan di stator menginduksi ke lilitan rotor yang berputar [9][10].

### III. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Blok 2 Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) PT. CEPA Sengkang, Kabupaten Wajo, Sulawesi Selatan sejak bulan Februari sampai Agustus 2022.

Pengumpulan data dilakukan dengan cara membaca literatur, melakukan observasi secara langsung pada Blok 2 PLTGU Sengkang dengan data-data yang dikumpulkan meliputi data beban harian generator, data daya input generator, data *nameplate* generator dan data rugi-rugi daya pada generator. Untuk metode wawancara dengan melakukan tanya jawab secara langsung kepada kepala *maintenance Engineer Electrical Control and Instrumen* Blok 2 PLTGU Sengkang. Dari proses pengolahan data didapatkan hasil dan pembahasan, sehingga dapat dianalisa kemudian ditarik suatu kesimpulan sebagai hasil evaluasi.

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini merujuk pada tujuan penelitian yang telah dilakukan, seperti dijelaskan pada diagram alir berikut:



Gambar 1. Flowchart penelitian

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Generator pada GT21 Blok 2 PLTGU PT. CEPA Sengkang

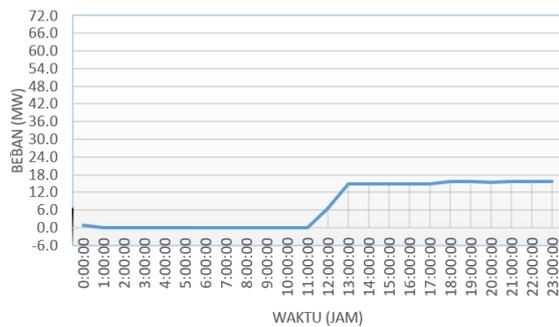
Spesifikasi generator GT21 Blok 2 PLTGU PT. CEPA Sengkang adalah generator SIEMENS yang diproduksi pada tahun 2007 dengan tipe SGen5-1000A dengan arah putaran ke kiri, jumlah fase 3~ yang terhubung Y, frekuensi 50 Hz, batas tegangan generator 10500 V±5%, batas arus generator 3959 A, batas daya yang dibangkitkan 72 MW, faktor daya 0,85 (*lagging*)

#### B. Kurva Pembebanan Generator

Kurva beban, secara sederhana dapat diartikan sebagai kurva yang menggambarkan penggunaan beban (listrik) dalam suatu waktu. Dikatakan dalam suatu waktu karena selangnya itu dapat berupa tahunan, bulanan, mingguan, dan harian. Namun, penggunaan yang akan dilakukan adalah kurva beban harian dan kurva beban bulanan.

1) Kurva Beban Harian

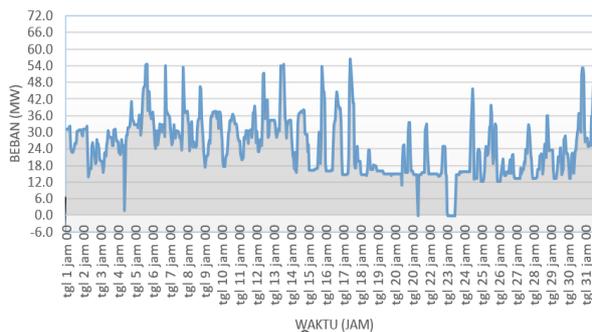
Berikut ini adalah kurva beban harian yang diambil selama 24 jam pada tanggal 23 Mei 2022



Gambar 2. Kurva Beban Harian

2) Kurva Beban Bulanan

Berikut ini adalah kurva beban bulanan yang diambil selama 1 bulan yaitu pada bulan Mei 2022



Gambar 3. Kurva Beban Bulanan

C. Rugi-Rugi Daya Generator pada GT21 Blok 2

Rugi –rugi daya pada generator GT21 Blok 2 PLTGU PT. CEPA Sengkang ini di kategorikan dalam 4 bagian yaitu 25%, 50%, 75% dan 100%, Total daya yang hilang dari keseluruhan rugi-rugi pada generator yang terdiri rugi gesekan, rugi inti, rugi hubung singkat, rugi tembaga, dan rugi gesekan antar sikat. untuk nilainya diambil pada tabel manual book generator dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Data Rugi-rugi daya Generator GT21 Blok 2

Rugi-rugi daya generator (MW)	100%	75%	50%	25%
rugi gesekan	0.231	0.231	0.231	0.231
rugi inti	0.138	0.138	0.138	0.138
rugi hubung singkat	0.292	0.164	0.073	0.018
rugi tembaga	0.197	0.13	0.077	0.046
rugi gesek antara sikat	0.001	0.001	0.001	0.001
rugi total	0.86	0.664	0.52	0.433

Sumber: Manual Book GT21 Blok 2 PLTGU PT. CEPA Sengkang [11]

D. Efisiensi Generator pada GT21 Blok 2 PLTGU PT. CEPA Sengkang

Untuk menghitung nilai efisiensi pada generator maka dibutuhkan data berupa daya input dan daya output pada generator tersebut. Untuk daya output di olah menggunakan kurva pembebanan, untuk daya inputnya diambil dari data center control room blok 2 selama 31 hari yaitu pada tanggal 1– 31 Mei 2022 dengan mengambil sampel pada saat generator bekerja selama 24 jam.

Dengan mengetahui nilai daya input dan daya output pada generator, maka dapat dilakukan perhitungan berdasarkan persamaan (5).

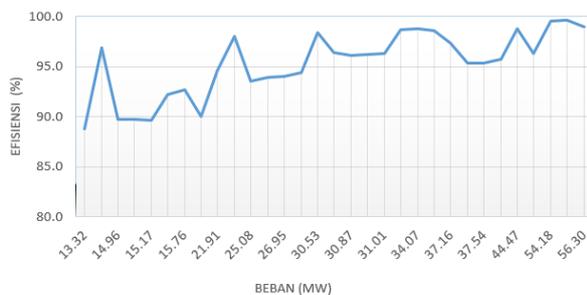
Tabel 3. Efisiensi Generator GT21 Blok 2 PLTGU PT. CEPA Sengkang

Tanggal	Daya Output (MW)	Daya Input (MW)	Efisiensi (%)
(a)	(b)	(c)	(d)
1/5/2022	30.93	32.14	96.23
2/5/2022	31.01	32.19	96.32
3/5/2022	30.87	32.13	96.08
4/5/2022	21.91	23.16	94.58
5/5/2022	54.18	54.42	99.57
6/5/2022	54.20	54.41	99.62
7/5/2022	30.75	31.88	96.44
8/5/2022	34.07	34.51	98.75
9/5/2022	37.16	38.15	97.39
10/5/2022	26.95	28.65	94.06
11/5/2022	39.43	41.18	95.73
12/5/2022	26.27	27.97	93.93
13/5/2022	37.32	39.15	95.32
14/5/2022	37.54	39.36	95.38
15/5/2022	44.47	45.00	98.82
16/5/2022	34.53	35.02	98.62
17/5/2022	56.30	56.91	98.93
18/5/2022	23.52	24.00	97.99
19/5/2022	14.96	15.43	96.90
20/5/2022	33.55	34.00	98.68
21/5/2022	30.53	31.01	98.45
22/5/2022	15.19	16.47	92.24
23/5/2022	15.76	17.00	92.70

24/5/2022	45.65	47.40	96.30
25/5/2022	22.57	24.29	92.92
26/5/2022	15.17	16.92	89.68
27/5/2022	14.96	16.68	89.69
28/5/2022	13.32	15.00	88.78
29/5/2022	15.82	17.56	90.05
30/5/2022	15.10	16.83	89.74
31/5/2022	25.08	26.82	93.51
rata-rata	29.97	31.15	96.21

Sistem kerja generator yang beroperasi pada PLTGU Sengkang menggunakan energi putar poros yang diteruskan oleh turbin sehingga menghasilkan daya serta sistem yang digunakan adalah *base load* yaitu beban generator disesuaikan dengan kebutuhan pada konsumen yang sinkron dengan PLN.

Dapat dilihat pada tabel 3 dimana efisiensi generator terbesar pada tanggal 5 Mei 2022 dengan efisiensi sebesar 99.62% dengan beban 54.2 MW sedangkan untuk efisiensi terendah yaitu pada tanggal 28 Mei 2022 dengan efisiensi sebesar 88.78% dengan beban 15.00 MW. Berdasarkan tabel 3 diperoleh nilai rata-rata efisiensi generator pada GT21 Blok 2 sebesar 96.23%, dengan beban rata-rata 30.22 MW dan daya masukan rata-rata 31.41 MW.



Gambar 4 Grafik efisiensi generator terhadap pembebanan

Berdasarkan grafik pada Gambar 4 Dimana dapat dilihat bahwa nilai efisiensi akan selalu mengalami peningkatan seiring bertambahnya beban generator yang diberikan namun pada saat mencapai nilai batas maksimum generator efisiensi mulai mengalami penurunan.



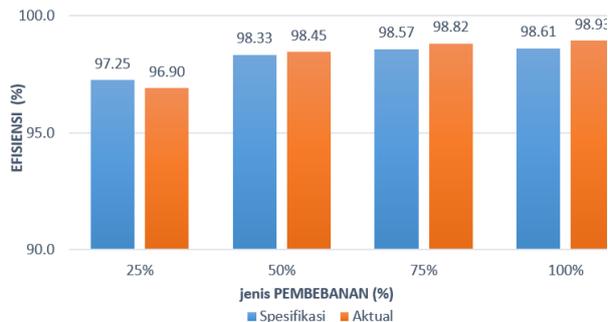
Gambar 5 Grafik efisiensi generator terhadap harian

Berdasarkan grafik pada gambar 5 ini disajikan perubahan nilai efisiensi generator dalam waktu harian dimana efisiensi terbesar terjadi pada tanggal 5 Mei 2022. Namun setelah unit mengalami shut down pada tanggal 21 Mei 2022 efisiensi mulai mengalami penurunan hingga mencapai 88.78% yang mana nilai rata-rata efisiensi secara desain sebesar ±98%.

Pada *manual book* generator GT21 Blok 2 PLTGU PT. CEPA Sengkang diperoleh nilai daya input 15.3 MW pada pembebanan 25%, nilai daya input 30.6 MW pada pembebanan 50%, nilai daya input 45.9 MW pada pembebanan 75% dan nilai daya input 61.2 MW Pada pembebanan 100%. Dengan mengetahui nilai daya *input* dan *output* pada generator, maka dapat dilakukan perhitungan berdasarkan persamaan (5) dengan mengambil nilai yang terdapat pada tabel 2 rugi-rugi daya generator. Dari hasil perhitungan tersebut dan dengan melihat hasil perhitungan tabel 3 maka dapat dilakukan perbandingan antara nilai daya input dan efisiensi aktual dengan daya input dan efisiensi berdasarkan *manual book* generator GT21 Blok 2 untuk 4 jenis pembebanan. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada tabel 4

Tabel 4 Perbandingan data spesifikasi dan aktual

	Jenis Pembebanan (a)	Spesifikasi (b)	Aktual (c)
25%	Daya Input (MW)	15.3	15.43
	Daya Output (MW)	14.867	14.95
	Efisiensi (%)	97.25	96.9
50%	Daya Input (MW)	30.6	31.01
	Daya Output (MW)	30.08	30.53
	Efisiensi (%)	98.33	98.45
75%	Daya Input (MW)	45.9	45
	Daya Output (MW)	45.236	44.47
	Efisiensi (%)	98.57	98.82
100%	Daya Input (MW)	61.2	56.91
	Daya Output (MW)	60.34	56.3
	Efisiensi (%)	98.61	98.93



Gambar 6. Perbandingan efisiensi berdasarkan data spesifikasi dan aktual

Dapat dilihat pada Gambar 6 generator GT21 Blok 2 PLTGU PT. CEPA Sengkang berdasarkan data pada Tabel 4 perbandingan data spesifikasi dan aktual efisiensi generator untuk pembebanan 25% mengalami penurunan efisiensi sebesar 0.35%, untuk pembebanan 50% mengalami kenaikan efisiensi sebesar 0.12%, untuk pembebanan 75% mengalami kenaikan efisiensi sebesar 0.25% dan untuk pembebanan 100% mengalami kenaikan efisiensi sebesar 0.32%.

#### E. Reverse Power Generator pada GT21 Blok 2 PLTGU PT. CEPA Sengkang

Dari hasil data yang disajikan dimana terjadi dua kali generator mengalami *reverse power* dalam satu bulan, unit mengalami *reverse power* Pada tanggal 21 Mei 2022 pukul 08.00 WITA dengan menghasilkan beban sebesar -0.1193 MW dan pada tanggal 23 Mei 2022 pukul 01.00 WITA sampai pada pukul 11.00 WITA dengan menghasilkan beban sebesar -0.12659 MW. Berdasarkan tabel 3 dimana efisiensi generator juga mengalami penurunan semenjak terjadinya *reverse power* dimulai pada tanggal 21 Mei 2022 hingga pada tanggal 31 Mei 2022 yang belum mencapai efisiensi normal generator.

#### V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yang terkait dengan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Nilai rata-rata efisiensi generator GT21 Blok 2 PLTGU PT. CEPA Sengkang pada bulan Mei 2022 sebesar 96.21%, dengan beban rata-rata 29.96 MW dan daya masukan rata-rata 31.14 MW. Mengacu pada *manual book* Blok 2 PLTGU PT. CEPA Sengkang diketahui nilai efisiensi

generator secara desain terbagi atas 4 pembebanan. Untuk pembebanan 25% efisiensi sebesar 96.6%, untuk pembebanan 50% efisiensi sebesar 98.45%, untuk pembebanan 75% efisiensi sebesar 98.82% dan untuk pembebanan 100% efisiensi sebesar 98.93%

2. berdasarkan data pengamatan selama 31 hari menunjukkan bahwa efisiensi optimum generator terjadi pada beban 54.2 MW (pembebanan 100%) dengan nilai sebesar 99.62%.

#### REFERENSI

- [1] Al haramain, *Analisis Efisiensi dan Pembebanan Generator Unit 1 pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Barru*, Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2020.
- [2] Muh.Hidayat Aras, *Analisis Kinerja Gas Turbin GT11 di Blok 1 PT. CEPA Sengkang*, Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2020.
- [3] Suardi dan Ahmad Yamin, *Evaluasi Sistem Kombinasi Antara Gas dan Uap Untuk Menghitung Besarnya Daya Listrik Yang Dibangkitkan Oleh Turbin Gas Dan Uap Pada PT. Energi Sengkang*, Makassar: Universitas Muhammadiyah Makassar, 2014.
- [4] Hutagalung, Leonardo, *Analisis Kerja Generator Sinkron PLTMH AEK RAISAN I Kab.Tapanuli Utara*, Medan: Universitas Pembangunan Panca Budi, 2020.
- [5] Yulia Hermanto, *Generator Sinkron*, politeknikNegeri Sriwijaya, 2019.
- [6] Dirgahayu Goldry FerdyeKaputra, *Analisis Pengaruh Kenaikan Temperatur Belitan Terhadap Kinerja Generator Pada PLTA Siguragura*, Medan: Universitas Sumatera Utara, 2018.
- [7] Muslis, Supari, *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik*, Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
- [8] Fitri Wildani, *Analisis Efisiensi dan Pembebanan Generator Unit 1 pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap 2x25 MW PT Rekin Daya Mamuju*, Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2021.

- [9] Muharrir dan Ibnu Hajar, *Analisis Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Generator Unit 2 PLTP PT. Indonesia Power UPJP Kamojang*, Jakarta: Sekolah Tinggi Teknik PLN, 2019.
- [10] Miftahul, *Cara Kerja Reverse Power Relay*, 2020.
- [11] PLTGU Sengkang, *Manual Book Generator*. Patila: PT. CEPA Sengkang, 2008.